

## COMPARISON OF THE LASER TRACKER SURVEYS FOR THE J-PARC HADRON FACILITY SWITCHYARD BEAMLINE BEFORE/AFTER THE EARTHQUAKE

Yoshihisa Shirakabe <sup>#,A)</sup>, Keizo Agari<sup>A)</sup>, Yoshitsugu Arakaki<sup>A)</sup>, Erina Hirose<sup>A)</sup>, Masaharu Ieiri<sup>A)</sup>, Yohji Katoh<sup>A)</sup>, Michifumi Minagawa<sup>A)</sup>, Ryotaro Muto<sup>A)</sup>, Megumi Naruki<sup>A)</sup>, Hiroyuki Noumi<sup>B)</sup>, Shin'ya Sawada<sup>A)</sup>, Yoshinori Sato<sup>A)</sup>, Seiji Shirakata<sup>A)</sup>, Yoshihiro Suzuki<sup>A)</sup>, Hitoshi Takahashi<sup>A)</sup>, Minoru Takasaki<sup>A)</sup>, Kazuhiro Tanaka<sup>A)</sup>, Norio Tani<sup>C)</sup>, Masahito Tomizawa<sup>A)</sup>, Akihisa Toyoda<sup>A)</sup>, Hiroaki Watanabe<sup>A)</sup>, and Yutaka Yamanoi<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> KEK, High Energy Accelerator Research Organization  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

<sup>B)</sup> Research Center for Nuclear Physics, Osaka University  
10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

<sup>C)</sup> J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirane Shirakata, Tokai, Ibaraki 319-1195

### Abstract

The East Japan Earthquake on March 11 struck the J-PARC site severely, and the Hadron Hall beam-line was also damaged. Fortunately, there were no fatally broken major equipments found among the Hadron beam-line magnets and detectors. But the ground around the J-PARC facilities seems more or less moved, and the alignment of the beam-line magnets has to be totally surveyed and re-aligned. In the Hadron Switchyard Beam-line, which transports the J-PARC Main-ring proton beam down to the Hadron Experimental Hall by around 200m, the laser tracker survey was carried out on May, 2008. After the earthquake, the SY line was surveyed again on May, with an interval of three years. In this report the comparison between the two surveys are made, in order to find out the extent of the ground movement caused by the earthquake.

## 震災前後での J-PARCハドロン実験施設スイッチャードビームラインのレーザートラッカー測量比較

### 1. はじめに

3月11日の大震災により、J-PARC 施設は甚大な被害を被ったが<sup>[1]</sup>、ハドロン実験施設もその例外では無く、震災によるビームライン機器への影響を正確に捕捉することは急務である。

ハドロン実験施設では、J-PARC MR (主リング) で加速された陽子ビームを遅い取り出し(SX)方式で取り出し、スイッチャード(SY)ビームラインを経てハドロンホールまでビームを輸送し、原子核素粒子実験に供している(図1)。全長約200mのSYビームラインは、途中複数個の屈曲点を持ち、各々決まった位置にあるMRとハドロンホールとの間を繋いで、30GeV(現状)の陽子ビームを通せるように作られている。

今回の震災により、これらMR・SY・ハドロンホールの間には相互に位置ずれが発生していることが予想される。SYビームラインについては、初期設置後約半年時点の2008年5月にレーザートラッカー(LT)を用いた測量を実施した。震災後の2011年5月に再度レーザートラッカーを用いた測量を(MR SX部も含め)実施し、震災前後での位置ずれがどの程度発生しているかを明らかに出来るようにした。

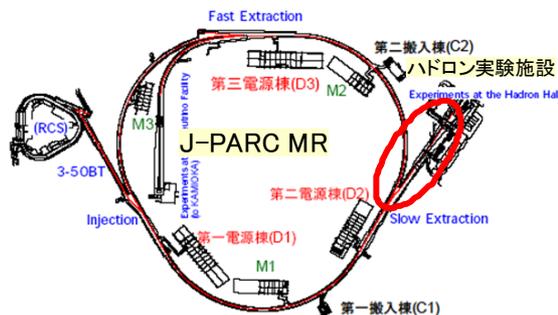


図1：ハドロンスイッチャードビームライン位置

本報告では、レーザートラッカー測量によるMR～SYビームライン部の震災前後での位置比較を行い、ハドロン施設復旧のための基礎データとする。

### 2. スwitchャード部電磁石

SYビームラインはMR遅い取り出し部の出口を起点とし、そこからビームをハドロンホールへ向けて分岐していく形で置かれている(図2)。2回の測量とも、SYビームラインがMRに対して相対的にどのような位置にあるかを明らかにすることを主眼

<sup>#</sup> yoshihisa.shirakabe@kek.jp



図2：J-PARC MR - SY 分岐部

として行った。そのため、図2のMRとの分岐部では、MR側の電磁石（偏向電磁石・四極電磁石）とSY側電磁石の両方の基準座座標を測定した。

SY部の電磁石は、全て他の実験施設等からの再利用品で、近年のLTによる測量に対応した高精度の磁極基準座を持ってはいない。そのため図3に示すように、吊具に加工したり後付けで基準座板をネジ止したりと苦肉の策を取っているが、基準座として十分な精度を持っているとは言い難い。それでも、地震によって磁極に対する基準座の相対位置がずれていないと考えれば、震災前後でのビームラインの変動はLT測量の精度で測れることが期待できる。

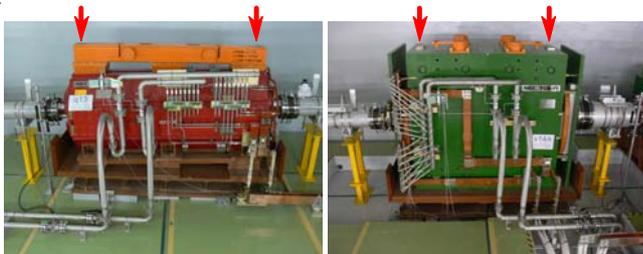


図3：SY電磁石基準座（赤矢印）  
左：吊具加工型、右：板ネジ止型

### 3. レーザートラッカーによる測量

2008年5月の測量では、ライカのLTD600を用い、SYビームラインを全27のエリアに分けてデータを取得した。各エリアとも、エリアのスパンの半分程度は隣接エリアと重複するようにした。

震災後の今年5月には、APIのTracker3を用い、11のエリアに分けて測量を行った。測量エリア数が大きく減少しているのは、新型機種に依る性能向上のためである。

隣接する2つのエリアの重複部では、LTの位置が異なるため、複数個の基準座座標が異なる2つの座標系で取得される。1つの座標系でのデータをもう1つの座標系に合わせるには、鉛直(z)軸を共通と考えて、水平面上での平行移動と回転(x,y,θ)によって同一の座標系に変換する。この時(x,y,θ)は、座標変換後の2エリア間の座標値の誤差の自乗和が最小となるように選んでいる。2008・2011の2回のLT測量では、どの隣接エリア間でも、平均の誤差は概ね数10μmに収まっている。100μmを越えているのはAPI Tracker3での3箇所のみ(最大115μm)で、これは1エリアのスパンが大きくなっていることが影響していると考えられる。SY部アライメントの目標精度は0.1mmなので、LT測量では概ね有用な情報が得られる精度が達成されていると考えられる。

### 4. 震災前後での比較

2回の測量から得られたビーム方向(X)・ビーム直交水平方向(Y)・鉛直方向(Z)それぞれの較差を図4に示す。両測量とも、MR遅い取り出し部のQ電磁石を位置の基準として、そこからの相対的なずれを出している。SY上下流部2ヶ所に置かれたエキスパンションジョイント部で、各方向に数mmの段差が発生している。また両ジョイント間で、ビームラインが0.19mrad時計回りに移動していること、同じ区間でX方向に3mm引っ張られるように伸びていることがわかる。

図4の左端付近はMRとSYとの分岐部(図2)で、ここを位置比較の基準に取っているので、この部分での較差は必然的に小さく見えている。この領域を拡大したのが図5である。図で、赤い点線に載っているのがSYの電磁石変位、黄色い点線がMR SX部電磁石変位である。このエリアでは、鉛直方向・水平方向共に変位が小さく、トンネルの床が比較的安定だったことがわかる。

上2図では、MR遅い取り出し部を基準点として、SYビームライン全体の変位を示したが、より細かくSYビームラインの各直線部に乗って、各電磁石の横方向(ビーム直交水平方向)の変位を示したのが図6である。2節で述べたように、SY電磁石の基準座は機械的精度が十分でなく、図よりわかる通り、各基準座の横方向座標(黒点線2008、赤点線2011)は1mmのオーダーで大きな誤差を持っている。それにも拘わらず、3年隔てて測った両者の較差(青点線)は比較的小さく、特に上流側半分(ビーム方向距離100m以下)では概ね0.1mm程度である。このエリアでトンネルの横方向のずれが小さく、安定していたことがわかる。

一方でビーム方向距離100mより下流側では、2回の測量間に較差が生じており、約1mm左に湾曲しているように見える。この付近は元々基準座位置の誤差が大きく、例えばh16電磁石では約3.5mmと、基準座取り付け誤差にしては大き過ぎる値を示している。既に3年前にこの誤差が発生しているので、この付近で横方向に地盤を湾曲させる力が働いていると想像される。

図7では、SYビームライン平面図上で、各磁石基準座の変位ベクトルを赤矢印で示している。

### 4. まとめ

震災前後でのSYビームラインの変動を、LTを用い測定した。このエリアでの地盤の動きを知り、再アライメントの参考にするためのデータが得られた。

今回の震災による地盤の動きは、余震も含めまだ当分続くことが予想される。引き続きJ-PARC全体での地盤の動きを注視していくことが必要であり、SY・ハドロンホールでも可能なデータの蓄積が重要である。また、M9.0だった3/11大震災の、高々1/350のエネルギーの地震がJ-PARCサイト近傍直下で起れば、これは阪神大震災(M7.3)と同等である。機器の製作・設置ともに、次なる大震災を予想するのが必要と考えられる。

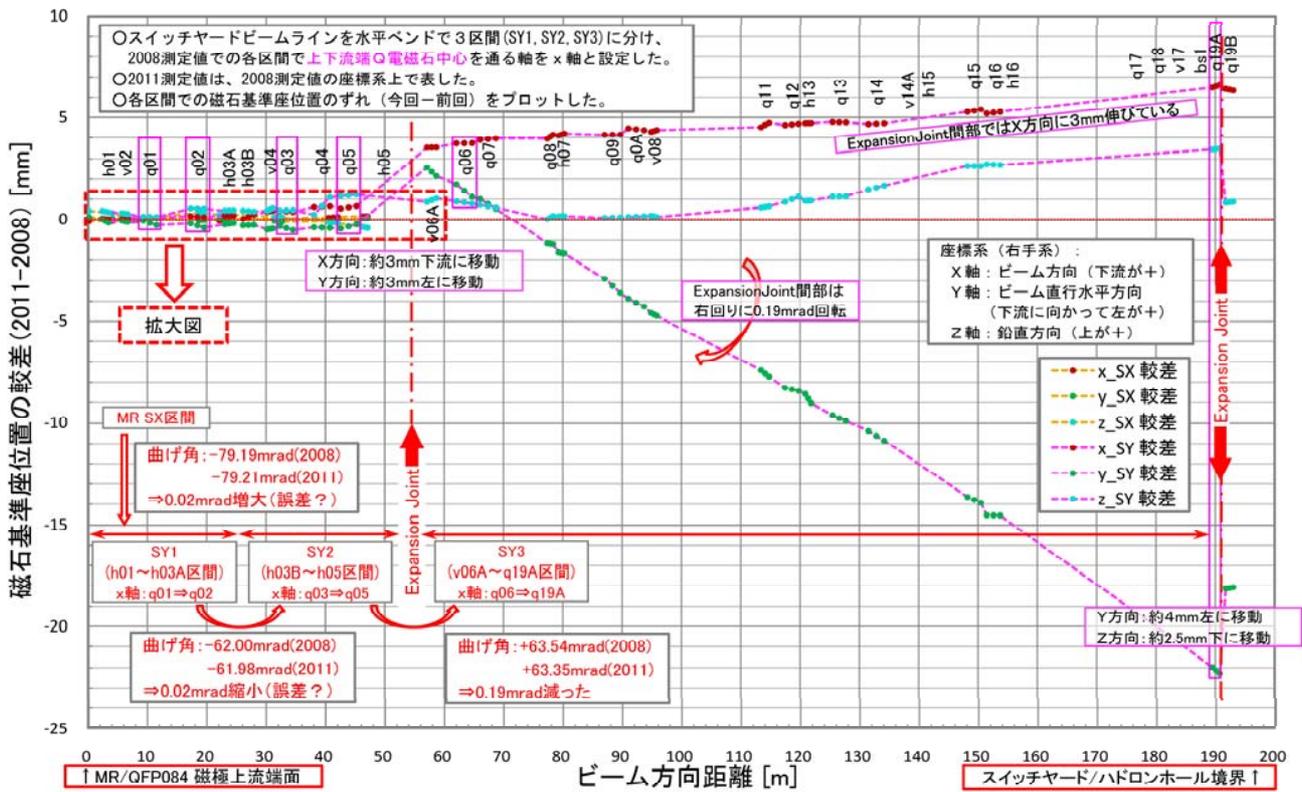


図 4 : 磁石基準座位置の X 方向・Y 方向・Z 方向のずれ (2011-2008)

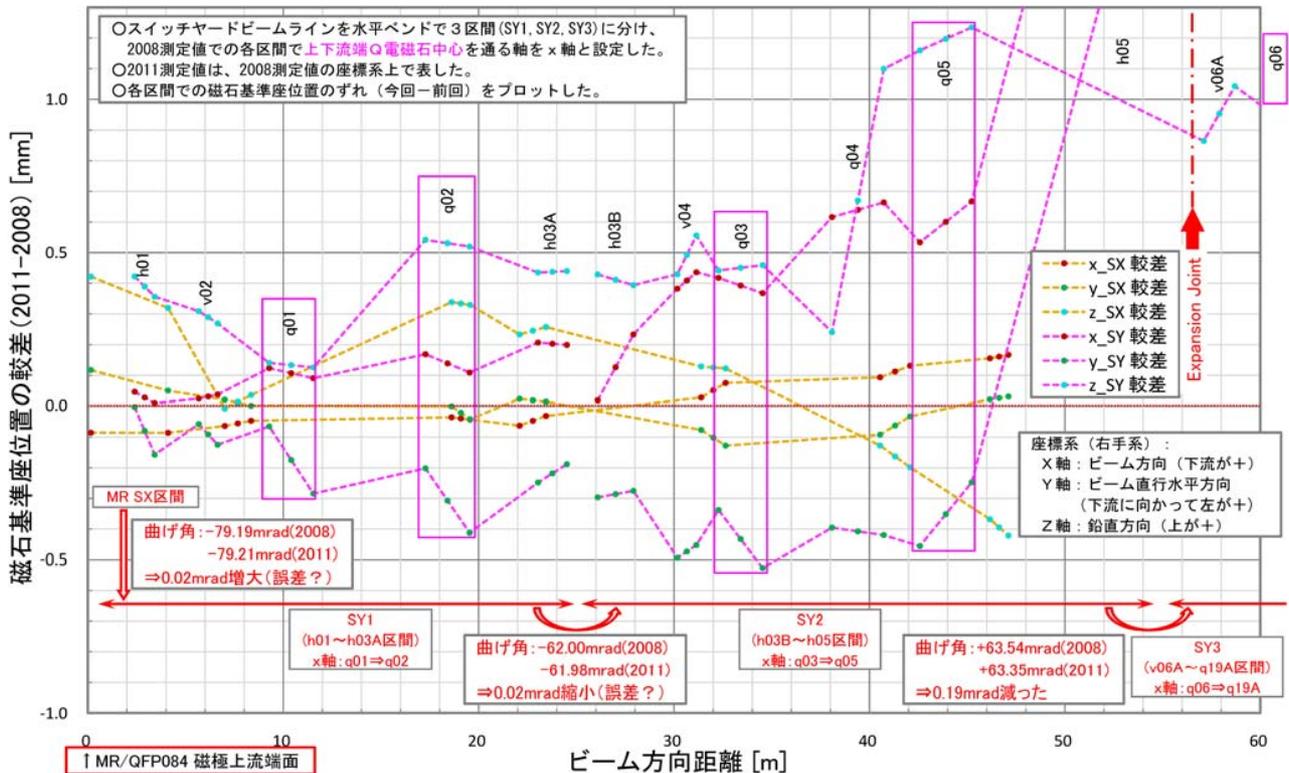


図 5 : 磁石基準座位置の X 方向・Y 方向・Z 方向のずれ (MR SY 分岐部の拡大図、2011-2008)

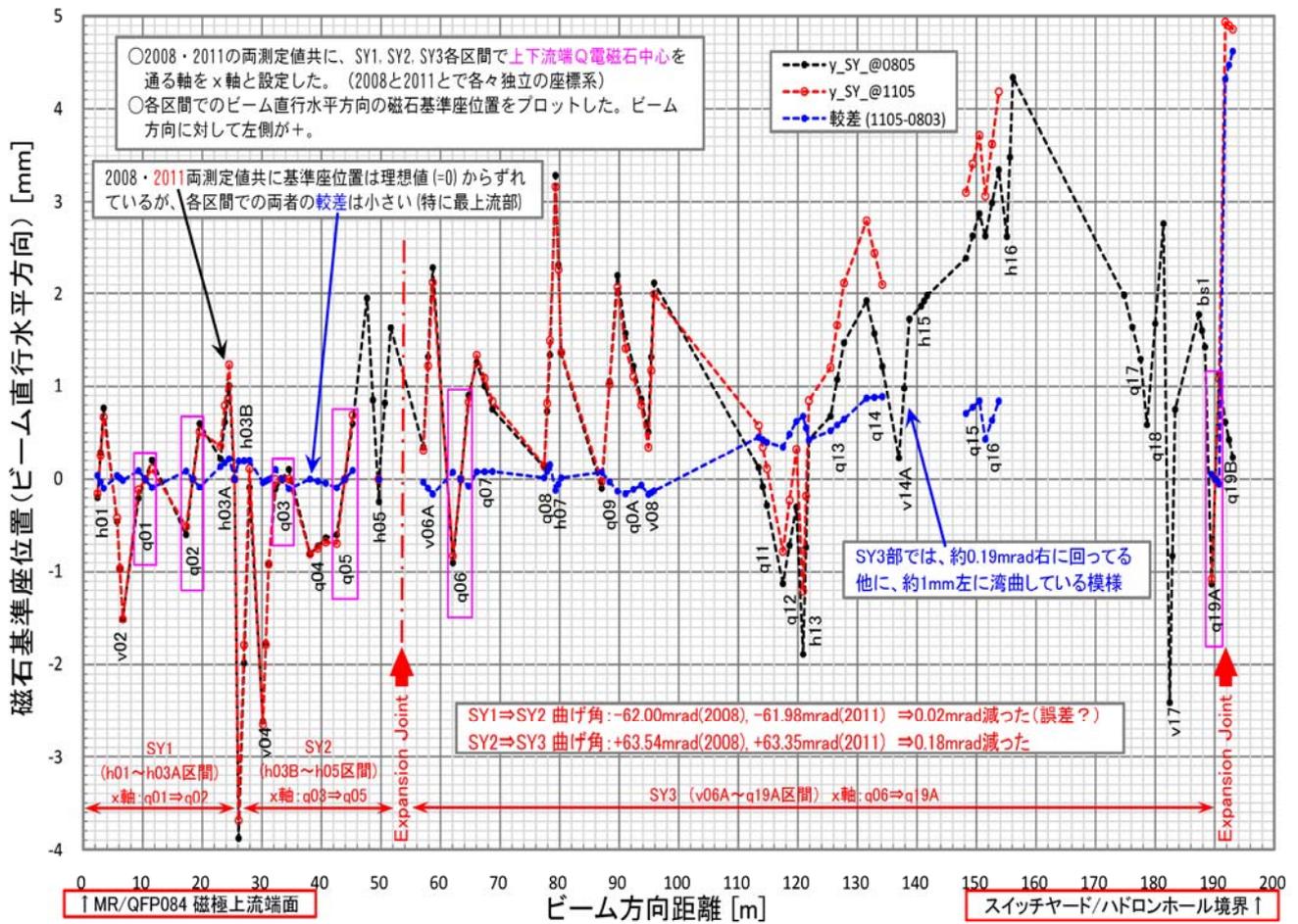


図6：横方向（ビーム直交水平方向）の磁石基準座位置（2011-2008）

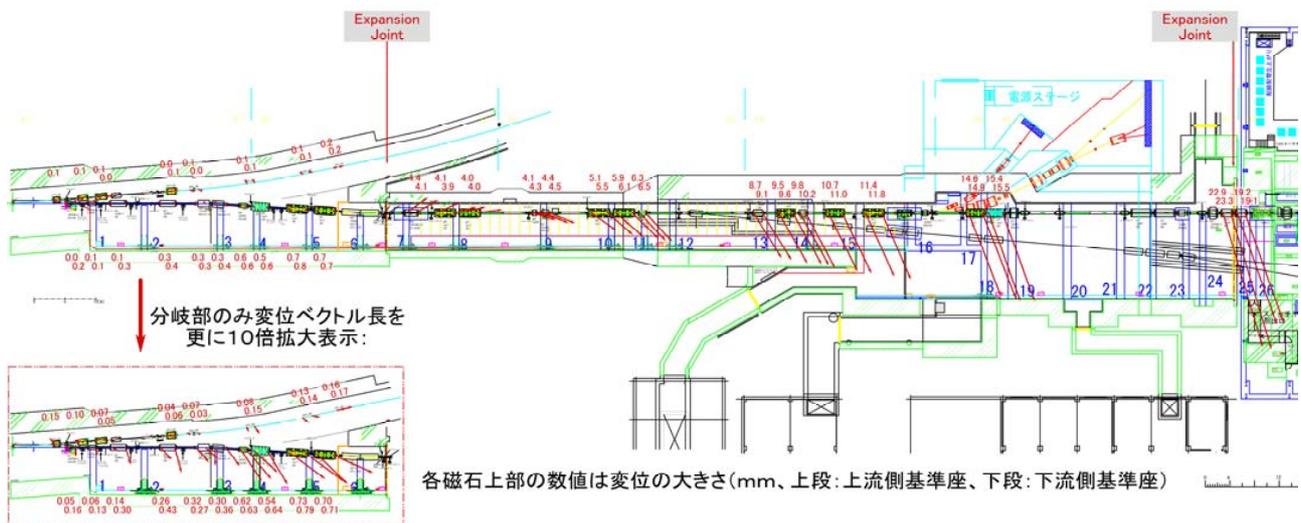


図7：磁石基準座座標の変位図（赤矢印）

### 参考文献

- [1] A. Tani, et al., "Alignment status of J-PARC accelerator facility after the Tohoku Earthquake in Japan", These Proceedings (in Japanese).